第47卷 第4期
2024年4月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 4
Apr. 2024

祁连山北麓荒漠草原5种优势植物生物量与土壤养分特征

张志明[1,2]， 孙小妹[2,3]， 包段红[1,2]， 姚宝辉[1,2]， 王志成[1,2]， 苏军虎[1,2]

（1. 甘肃农业大学草业学院，草业生态系统教育部重点实验室，甘肃省草业工程实验室，中-美草地畜牧业可持续发展研究中心，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃农业大学新西兰梅西大学草地生物多样性研究中心，甘肃 兰州 730070；3. 甘肃农业大学资源与环境学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：为明晰荒漠草原优势植物的植物生物量与土壤养分关系，研究选取祁连山北麓肃北区域荒漠草原骆驼蓬（*Peganum harmala*）、狗尾草（*Setaria viridis*）、中华羊茅（*Festuca sinensis*）、碱茅（*Puccinellia distans*）和冰草（*Agropyron cristatum*）5种优势植物，测定该其生物量和根际土壤养分，探究其植物生物量分配及其与土壤养分间的关系。结果表明：（1）5种优势植物间总生物量和根冠比差异显著（$P<0.05$），骆驼蓬总生物量最高，碱茅最低。多年生的骆驼蓬、碱茅、中华羊茅和冰草植物生物量大部分集中在地下，一年生的狗尾草植物生物量大部分集中在地上，不同植物间根冠比大小为：碱茅>冰草>中华羊茅>骆驼蓬>狗尾草。（2）5种植物根际土壤有机碳、碱解氮、速效钾、全氮、全磷、全钾及其化学计量特征均存在显著差异（$P<0.05$），5种植物根际间土壤碳氮比大小为碱茅>狗尾草>冰草>骆驼蓬>中华羊茅。（3）不同植物生物量、根冠比及土壤养分变异性不一致，骆驼蓬、狗尾草和中华羊茅的根际土壤全钾与碱茅和冰草的根际土壤含水量等均为弱变异，而土壤养分及其化学计量特征为中等变异。5种优势植物的生物量与根际土壤碱解氮和全钾呈正相关性（$P<0.05$）。可见荒漠草原生态系统中植物生物量分配和根际土壤养分在生活史和物种间的差异较大，今后应根据不同优势植物养分需求，合理施肥来修复退化的荒漠生态系统。

关 键 词：荒漠草原；生物量；根冠比；土壤养分特征；祁连山北麓
文章编号：1000－6060(2024)04－0662－10(0662～0671)

祁连山是我国黄河和黑河流域重要的水源产流地和生物多样性保护优先区域。荒漠草原作为其北麓主要的生态系统类型，通常情况下土壤贫瘠、植被稀疏、抗干扰能力差和自我恢复较慢，但在水土保持、防风固沙和生物多样性保护等方面具有极其重要的功能，是我国西部重要的生态安全屏障[1]。近年来，由于受到气候变化和人类活动的影响，荒漠草原退化情况加剧[2]，主要表现为物种数减少、覆盖度降低，进一步使草地面积减少[3]。随着生态工程的实施，草原荒漠化和沙化土地面积持续减少，退化程度连续减轻，沙化土地植被盖度也稳步提高，但治理的沙化土地植被处于恢复阶段，极易发生反弹。草地退化和荒漠化的影响因素具有多样性，包括自然因素（如气候、火灾、物种入侵）和人为因素（如过度放牧和开垦）[4-5]，后期的管理与保护也是影响再退化的原因之一，加之在植被恢复和荒漠治理过程中，许多科技的应用和推广脱离了植被退化的真正原因，使得研究水平和推广机制受到限制，造成修复技术在荒漠化治理中的效果并不显著[6]。如何遏制荒漠草原的进一步退化以及如何科学地

收稿日期：2023-06-09； **修订日期**：2023-07-26
基金项目：武威市重点研发科技项目（WW2002YFS008）；甘肃省科技计划项目（22JR5RA1057）和中央引导地方科技发展资金项目（23ZYQH0298）资助
作者简介：张志明（1994-），男，硕士研究生，主要从事草地生态方向研究. E-mail：Zhangzhiming857@163.com
通讯作者：苏军虎（1981-），男，博士，教授，主要从事草地生态和保护方向研究. E-mail：sujh@gsau.edu.cn

修复和管理成为当前亟需解决的问题[7]。

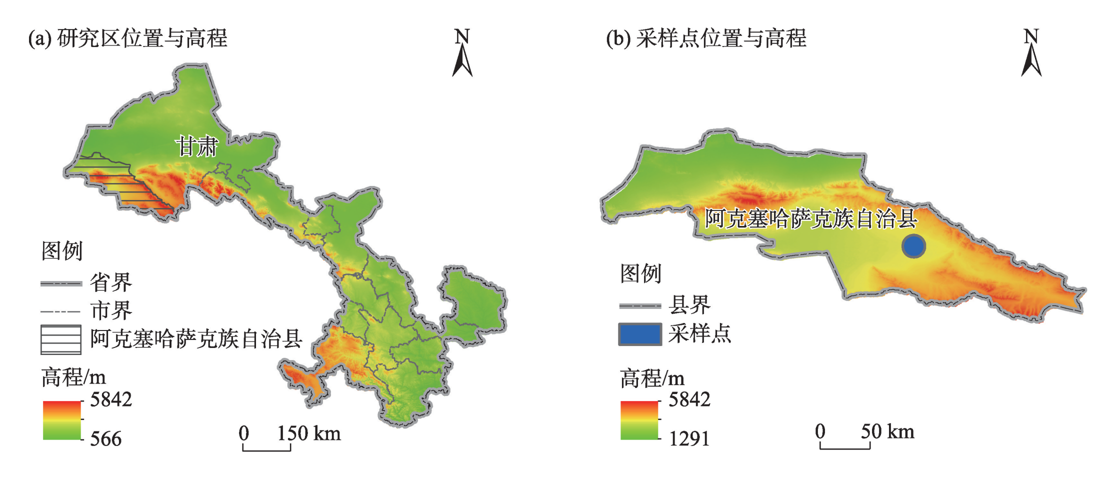
土壤为植物体的生长和发育过程中提供所需的养分[8]。土壤中碳、氮、磷和钾作为主要元素，为植物的生长和发育提供养分和环境条件，也是生态系统中的重要功能指标[9]。研究发现随着荒漠草原沙漠化程度的加剧，导致其生态系统中土壤粗砂粒含量和土壤容重增加，草地植物群落生物量、香农维纳指数、丰富度指数、盖度和土壤中水分、细砂粒、黏粉粒、铵态氮和硝态氮等均呈现下降趋势[10-12]。土壤中有机质、速效磷、速效钾和碱解氮等作为土壤速效养分指标，能直接反映土壤中速效养分对植物生长和发育的供应情况[13]。在不同植物对土壤环境改良作用的工作积累发现，不同植物在生长过程中，由于其根部构成、凋落物类型以及分泌物对土壤微生物群落的影响各异，造成同一地区不同植物根际土壤含水量和养分等均有很大差别[14-15]。植物群落演替过程与土壤互作，植物群落及生物量也会影响土壤养分，同时植物生长受土壤养分制约，而植物产生的凋落物和根系也会导致土壤养分的变化[16]。在植被演替过程中，其根际土壤养分除受生物量分配和植物群落结构影响外，还受到气候、母质、自然理化性质等影响，人为干扰和放牧或动物采食都影响到土壤养分[17]。可见在不同植被类型和演替阶段因其生物量形成、积累和分解速率的不同，会对其根际的土壤养分产生独特的作用。理解植物与土壤养分关系，对探讨区域植物群落结构及动态的关键过程，指导区域植被恢复实践以及优化自然资源管理策略亦具有重要的价值。

目前对于荒漠草原生态系统的研究大多数都集中在放牧强度[18]、养分添加[19]、降水模拟[20]等对载畜率、物种多样性、群落结构特征各方面影响的研究。对不同植物生物量分配及根际土壤养分的变化研究较少，研究不同植物间的植被特征、根际土壤养分及其相关性对于荒漠草原生态系统草地保护和生态修复具有重要的现实指导意义[21]。本文选取祁连山北麓荒漠草原骆驼蓬(*Peganum harmala*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)、碱茅(*Puccinellia distans*)和冰草(*Agropyron cristatum*)5种优势植物，分析其生物量、根冠比和根际土壤养分特征，探究其植物生物量分配及其与土壤养分间的关系，旨在了解荒漠草原的植被和土壤现状，为荒漠草原植被重建和生态修复提供参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于祁连山北麓的甘肃省酒泉市阿克塞哈萨克族自治县哈尔腾村(38.88°N、95.10°E)，如图1所示。海拔约3200 m，年均气温基本小于3.9 ℃，年均降水量在18.8~176.0 mm范围内，年蒸发量约为1800~2500 mm。全县草原主要由花海子、前山、哈尔腾和安南坝4大草场组成，总面积达1096 hm²，占全县总面积32.74%，是典型的高寒荒漠草原地区[22]。采样点位于哈尔滕草原，该地区表层土壤有机质含量为21.4 g·kg^{-1}，全氮含量为0.33 g·kg^{-1}，全磷含量为0.73 g·kg^{-1}，全钾含量为9.78 g·kg^{-1}。地区植被盖度为3%~10%，植被群落物种包括珍珠猪毛



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2020)4632号的标准地图制作，底图边界无修改。

图1　研究区位点图

Fig. 1　Site map of the study area

菜(*Salsola passerina*)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphyila*)、灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)和沙蒿(*Artemisia desertorum*)等。

1.2 样品采集

植物和土壤样品均于2021年8月中旬采集,随机选取5种植物的植株体各25株,通过人工挖掘方法获取完整植株体,挖掘深度为20~30 cm,然后按照地上、地下部分,分别标记装袋带回实验室。将植物样品先用自来水冲洗2~3次,再用蒸馏水冲洗2~3次,除去样品上的灰尘等杂物。将样品置于烘箱,温度设为105 ℃进行30 min杀青,然后调置于65 ℃下烘干至恒重;根际土的采集参照抖土法[23]采集每个植物的根际土壤样品,标记装袋。带回实验室经自然风干,剔除其他植物根系和石块等杂物,然后研磨过100目筛,装袋待测。

1.3 样品测定

土壤理化性质的测定方法参考《土壤农业化学分析方法》[24]。土壤有机碳(Organic carbon, OC)经过重铬酸钾溶液消煮后,采用硫酸亚铁滴定法测定;土壤全氮(Total nitrogen, TN)含量采用H_2SO_4-$NaSO_4$:$CuSO_4$:Se催化法消煮,用半微量凯氏定氮法测定;速效氮(Available nitrogen, AN)用碱解扩散法测定;全钾(Total potassium, TK)含量用NaOH熔融火焰光度计法测定;速效钾(Available potassium, AK)含量采用NH_4OAc-火焰光度计法测定;土壤全磷(Total phosphorus, TP)含量测定采用钼锑抗法显色法测定;速效磷(Available phosphorus, AP)含量采用0.5 $mol\cdot L^{-1}$ $NaHCO_3$浸提-钼锑抗比色法测定,土壤含水量(Soil water content, SWC)用烘干法测定。

1.4 变异系数

变异系数(Coefficient of variation, C_V)是一个能反映变异程度的有效指标,其定义为标准差与平均值之比:

$$C_V = \frac{\delta}{\mu} \times 100\% \quad (1)$$

式中:δ为标准差;μ为平均值;当$C_V \leq 10\%$时,为弱变异;当$10\% < C_V \leq 100\%$时,为中等变异;$C_V > 100\%$时,为强变异。

1.5 数据分析

采用Excel 2016和SPSS 23.0软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析检验不同植物生物量和根际土壤养分,用最小显著差数法检验差异显著性。为了揭示高寒荒漠草原环境因子与植物生物量之间的关系,应用R语言软件Vegan软件包基于线性模型进行冗余分析(Redundancy analysis, RDA),为评估环境因子对生物量影响的相对重要性,分别计算每个环境因子的决定系数(R^2),R^2越小,表示该环境因子对植物生物量影响越小。Pr表示相关性的显著性检验,所有排序的显著性均由Permutation test(置换999次)进行检验[25]。

2 结果与分析

2.1 不同植物的生物量及其根冠比分析

通过对祁连山北麓荒漠草原5种优势植物的生物量和根冠比的差异性分析可见(表1),在同一样本数下不同优势植物的地上生物量、地下生物量、总生物量和根冠比差异显著($P<0.05$),不同植物间地上生物量大小为:骆驼蓬>狗尾草>冰草>中华羊茅>碱茅;地下生物量大小为:骆驼蓬>中华羊茅>冰草>狗尾草>碱茅;总生物量大小为:骆驼蓬>冰草>中华羊茅>狗尾草>碱茅,且骆驼蓬、碱茅、中华羊茅和冰草等作为多年生植物生物量大部分集中在地下,而狗尾草作为一年生植物的生物量大多数集中在地上部分。不同植物间根冠比大小为:碱茅>冰草>中华羊茅>骆驼蓬>狗尾草。

表1 祁连山北麓5种植物生物量及根冠比

Tab. 1 Biomass and root-to-shoot ratio of five species at the northern foothills of the Qilian Mountains

物种	样本数	地上生物量	地下生物量	总生物量	根冠比
骆驼蓬(*Peganum harmala*)	25	13.57a	21.30a	34.88a	1.57cd
狗尾草(*Setaria viridis*)	25	0.59b	0.52b	1.10b	0.92d
中华羊茅(*Festuca sinensis*)	25	0.26b	1.18b	1.44b	2.26c
碱茅(*Puccinellia distans*)	25	0.07b	0.24b	0.32b	5.19a
冰草(*Agropyron cristatum*)	25	0.42b	1.12b	1.55b	3.29b

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 不同植物的根际土壤养分及其化学计量特征分析

通过对不同植物根际土壤含水量和养分的测定发现(表2),根际SWC和AP含量在不同植物间差异不显著(P>0.05);根际土壤AN和AK含量在各植物间差异显著(P>0.05),其中骆驼蓬植物根际土壤AN含量为最高,狗尾草植物根际土壤AN含量为最低;不同植物间根际土壤AK和SWC含量大小为:冰草>狗尾草>骆驼蓬>碱茅>中华羊茅。根际土壤OC、TN、TP、TK在不同植物间差异显著(P<0.05),碱茅植物根际土壤OC含量显著高于狗尾草、冰草、中华羊茅和骆驼蓬(P<0.05),不同优势植物根际间OC含量大小为碱茅>狗尾草>冰草>中华羊茅>骆驼蓬;中华羊茅植物根际土壤TN含量相较于其他植物根际土壤TN差异显著(P<0.05);不同植物根际土壤TN含量大小为:中华羊茅>骆驼蓬>狗尾草>冰草>碱茅,中华羊茅和狗尾草植物根际土壤TP含量显著高于骆驼蓬、碱茅和冰草(P<0.05),不同植物根际土壤TP含量大小为:中华羊茅>狗尾草>冰草>碱茅>骆驼蓬;骆驼蓬和狗尾草植物根际土壤TK含量显著高于中华羊茅、碱茅和冰草(P<0.05),不同植物根际土壤TK含量大小为:狗尾草>骆驼蓬>中华羊茅>冰草>碱茅。

通过对不同植物根际土壤的化学计量比特征研究发现(表2),根际土壤碳氮比(C:N)、碳磷比(C:P)、氮磷比(N:P)和碳钾比(C:K)在不同的植物间均差异显著(P<0.05)。不同植物根际土壤C:N大小为:碱茅>狗尾草>冰草>骆驼蓬>中华羊茅;C:P大小为:碱茅>冰草>骆驼蓬>狗尾草>中华羊茅;N:P大小为:骆驼蓬>冰草>碱茅>中华羊茅>狗尾草;C:K大小为:碱茅>冰草>狗尾草>中华羊茅>骆驼蓬。

2.3 不同植物的生物量和根际土壤养分及其计量比变异分析

通过对不同植物生物量和根际土壤养分特征的变异系数发现(表3),骆驼蓬植物地上生物量和根冠比及根际土壤TP和TK,狗尾草植物根际土壤TK、C:P、AP和SWC,中华羊茅植物根际土壤TP、TK和AP,碱茅植物根际SWC,冰草植物根际土壤C:P、AN和SWC均属于弱变异,其余不同植物间生物量和根际土壤养分和化学计量特征为中等变异。

2.4 植物间生物量与根际土壤养分的相关性分析

如图2所示,为了更好地揭示荒漠草原土壤养分特征和生物量及根冠比间的相互作用关系,采用RDA分析方法,将荒漠草原不同植物根际土壤养分及其化学计量特征与植被生物量作为2个变量进行分析,RDA能够可以直观的显示两者之间的关系,通过环境因子与植被特征间的RDA分析可见,环境因子对植被生物量的总累积解释率为97.7%,第1、2排序轴分别解释了76.5%、21.7%(表4)。SWC、N:P、TK、AN与植物地上、地下生物量与总生物量之间呈

表2　祁连山北麓5种植物根际土壤养分及其化学计量特征

Tab. 2　Rhizosphere soil nutrients and their stoichiometric characteristics of five plants at the northern foothills of the Qilian Mountains

土壤指标	狗尾草	中华羊茅	碱茅	冰草	骆驼蓬
SWC/%	16.2±1.05a	10.4±1.68a	13.36±0.46a	16.45±0.81a	14.84±3.95a
AP/mg·kg^{-1}	10.82±0.44a	11.41±6.46a	12.34±0.24a	11.35±0.83a	10.55±0.29a
AK/mg·kg^{-1}	3.54±0.41b	1.07±0.51c	1.58±2.31c	7.13±1.70a	2.85±4.50b
AN/mg·kg^{-1}	53.99±21.38c	95.64±10.68b	97.31±31.87b	98.3±0.59b	137.27±14.58a
TN/g·kg^{-1}	0.29±0.17b	0.51±0.15a	0.24±0.10b	0.28±0.12b	0.31±0.07b
TP/g·kg^{-1}	2.30±0.44a	2.59±0.13a	0.75±0.13b	0.84±0.27b	0.73±0.04b
TK/g·kg^{-1}	10.38±0.56a	6.21±0.62b	5.92±0.63b	6.15±0.71b	10.03±0.92a
OC/g·kg^{-1}	49.93±9.44ab	26.33±7.89c	59.59±12.45a	37.79±15.13bc	22.26±10.72c
N:P	0.13±0.06b	0.20±0.07b	0.32±0.14ab	0.33±0.20a	0.42±0.08a
C:K	2.79±0.61bc	2.46±0.99bc	5.84±1.16a	3.56±1.60b	1.29±0.75c
C:P	12.59±1.00bc	5.90±1.80c	45.81±13.41a	26.19±2.56bc	17.59±7.63c
C:N	99.34±39.05b	30.24±28.25b	145.07±55.48a	78.72±34.49b	42.00±13.62b

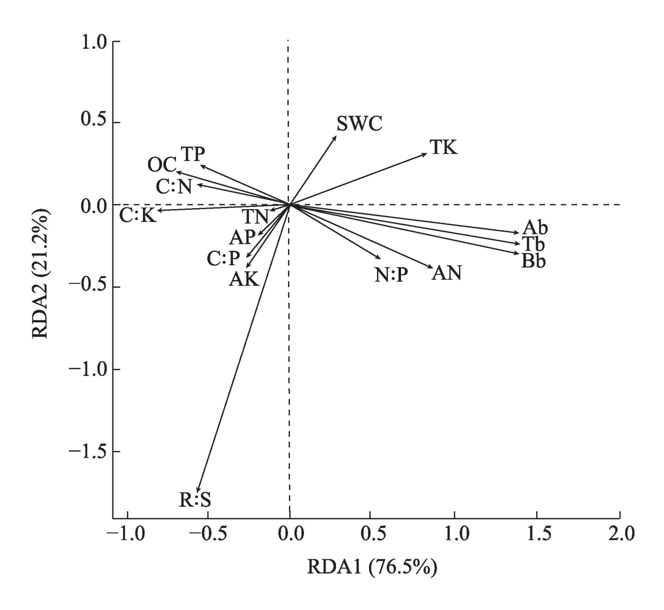
注:SWC为土壤含水量;AP为速效磷;AK为速效钾;AN为碱解氮;TN为全氮;TP为全磷;TK为全钾;OC为有机碳;C:N为碳氮比;C:P为碳磷比;N:P为氮磷比;C:K为碳钾比。下同。

表3 祁连山北麓5种植物根际土壤养分、生物量及根冠比变异系数

Tab. 3 Coefficients of variation of soil nutrients, biomass and root-shoot ratio of five plants at the northern foothills of the Qilian Mountains

土壤指标	变异系数				
	骆驼蓬	狗尾草	中华羊茅	碱茅	冰草
OC	48.13	18.91	29.98	20.88	40.03
TN	24.10	44.50	35.15	47.80	33.74
TP	5.64	19.18	5.10	16.62	32.20
TK	9.17	5.42	9.96	10.65	11.51
C:N	33.09	46.91	68.72	29.86	50.06
C:P	43.80	7.94	30.50	28.51	9.92
N:P	18.32	32.94	38.14	49.34	44.80
C:K	56.58	21.79	39.54	19.73	44.05
AN	11.16	35.25	11.17	32.75	0.60
AP	42.62	3.83	4.47	18.71	14.96
AK	10.19	12.49	137.04	15.40	11.61
SWC	26.59	6.48	16.14	3.44	4.95
Ab	8.11	32.18	34.19	67.27	18.35
Bb	13.97	47.50	97.78	12.56	66.12
Tb	11.62	30.39	85.48	20.55	51.97
R:S	6.20	42.80	80.19	46.90	53.52

注：Ab为地上生物量；Bb为地下生物量；Tb为总生物量；R:S为根冠比。下同。



注：RDA1、RDA2分别为冗余分析第一排序轴和第二排序轴。

图2 植物生物量和土壤养分特征的RDA排序图

Fig. 2 RDA ranking plot of plant biomass and soil nutrient characteristics

正相关性，而TC、TP、C:N、C:K、AP等与植物地上、地下及其总生物量之间呈负相关性，但与植物间的

表4 土壤因子与植物生物量RDA结果

Tab. 4 RDA results of soil factors and plant biomass

内容	RDA1	RDA2
特征值	3.0589	0.8496
可解释变量累计百分比	0.7647	0.2124
可解释拟合变量(累计)	0.7647	0.9771
蒙特卡罗置换检验	$P<0.05$	

注：RDA1、RDA2分别为冗余分析第一排序轴和第二排序轴。下同。

表5 土壤因子和植物生物量RDA排序相关系数

Tab. 5 RDA ranking correlation coefficient between soil factors and plant biomass

土壤因子	RDA1	RDA2	R^2	Pr
SWC	0.47101	0.88213	0.1952	0.245
AK	−0.47991	−0.87732	0.1677	0.327
AP	−0.62465	−0.78091	0.0503	0.726
AN	0.87023	−0.49264	0.4884	0.022
TN	−0.92070	−0.39028	0.0089	0.951
TP	−0.87356	0.48671	0.1915	0.280
TK	0.89323	0.44961	0.4301	0.046
OC	−0.94157	0.33682	0.2649	0.156
N:P	0.78968	−0.61352	0.2386	0.193
C:K	−0.99676	−0.08045	0.3200	0.095
C:P	−0.54229	−0.84019	0.1281	0.411
C:N	−0.95473	0.29746	0.1397	0.429

注：R^2为决定系数；Pr为相关性的显著性检验。

根冠比呈正相关性。不同土壤因子对荒漠草原植物的生物量和根冠比的影响不同，按照R^2排序(表5)，结果为：AN>AK>C:K>OC>N:P>SWC>TP>AK>C:N>C:P>AP>TN，只有碱解氮和全钾与生物量和根冠比相关性显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同荒漠优势植物的根冠比和生物量

植物生物量的分配差异可反映不同生活史植物的生存机制和适应策略，而根冠比作为一项陆地生态系统的重要指标，能够预测植物地上、地下生物量及其分配中在应对全球气候变化的问题上具有重要的意义[26]。目前，我国对于荒漠化治理尤其是防沙治沙的标准化工作仍然十分滞后，主要还是缺少标准化的水土保持技术、科研成果转化缓慢以及先进的成果和技术得不到推广和应用[27]。本文通过对荒漠草原植被和土壤研究发现，在荒漠草原上骆驼蓬植物地上和地下生物量较其他4种植物间

差异较显著，这是因为骆驼蓬作为多年生草本植物不仅具有高大的植株体还具有发达的根系，以便为来年植物体的生长发育提供物质基础。不同植物间根冠比差异较显著，根冠比反应了植物对资源的分配情况，其比值的大小可体现出植物是将资源更多的分配到地上还是地下[28]。在荒漠草原水分作为主要的限制因子，对于资源的分配影响较大，且大多数分配到地下。研究发现生活史短的植物主要将生物量集中在地上部分，而多年生植物则主要将生物量集中在地下部分[29]。这与本文结论基本一致，骆驼蓬、碱茅、中华羊茅和冰草作为多年生草本，地下生物量高于地上生物量；而狗尾草作为一年生草本，它的地上生物量高于地下生物量。

3.2 不同荒漠优势植物对根际土壤养分特征的影响

在生态系统中土壤作为生物与环境相互作用的基质，不仅贮存着能够使植物不断生长发育所需的大量养分，土壤中养分含量的多少还会直接影响植被群落的组成、结构和功能[30]。荒漠草原由于其土壤贫瘠、植被类型单一，导致自身生态环境较为脆弱，但长期以来植物已经形成了自身的相关适应性机制，不同植物结构对土壤养分的需求和适应都有所差异[31-32]。关于不同植物对土壤根际养分的影响相关性研究在不同的研究中结论并不一致，邵文山等[33]通过研究发现，不同植物养分指标均具有差异性，而本文中有些植物土壤根际土壤养分指标无显著性差异，这可能与植物自身生长习性及生活史有关。根际是植物根系影响下的特殊生态环境，根系与土壤在根际区共同构建了一个特殊的微生态环境，有着不同于根际区的养分特性，其养分水平能直接反应植物与土壤之间的物质交换过程[34-35]。本研究结果发现与本研究区的土壤养分底值相比，5种优势植物根际对土壤有机碳和全磷有明显的富集现象，中华羊茅根际对土壤全氮与狗尾草和骆驼蓬根际对土壤全磷也具有富集作用。但是本研究区不同植物根际土壤的C:N(30~150)远高于中国土壤C:N(10~12)的平均水平[36]。通常情况下，土壤C:N较低有利于促进土壤微生物活力的作用，有助于增强土壤有机质的矿化作用[37]，而本研究不同植物根际土壤的C:N均处于较高水平，表明试验区土壤中N较为缺乏，并且土壤C:N的指示作用有待进一步研究。土壤C:P为P元素矿化能力的标志[38]，试验区土壤C:P介于5~45之间，当土壤C:P小于200时，也就是说较低的土壤C:P会对土壤C、P含量的增加产生积极的影响，也说明在该地区P相对缺乏。土壤N:P作为N饱和的标志，能够指示土壤养分对植物生长过程中的供应状况[39-40]，该试验区不同植物根际土壤N:P介于0.1~0.5之间，远低于中国土壤的平均值[36]，再次说明在该地区土壤N缺乏。通过对荒漠草原5种优势植物根际土壤养分及其化学计量特征的研究，可直观揭示不同植物对土壤养分的富集作用以及该研究区土壤养分匮乏现象，为荒漠化治理及植被恢复过程中物种的选择和养分补充提供一定的依据，但有关荒漠草原优势植物根际养分差异机理还需进一步研究。

3.3 不同植物生物量与土壤养分特征的相关性

植物的大部分生理活动需要依靠土壤提供养分，然而在养分供应过程中需要土壤和植物体达到和维持一个稳定的元素比[41]。本文研究发现植物生物量与土壤碱解氮和全钾呈显著正相关，而大量研究表明，植物生物多样性和生物量不仅与其结构和功能有关，还与土壤碱解氮、有机质和含水量有关[42]，这与本文研究结果基本一致。本研究还发现不同植物根际土壤养分与植被特征均有不同程度的相关性，土壤OC、TP与植物生物量呈负相关，而土壤TK和AN与植物生物量之间呈正相关，这与An等[43]对荒漠草原植物的研究结果不一致，这可能是由于植物种类、生活环境群落结构和组成、土壤养分特征、气候条件会改变不同植物群落生物量分配和根际土壤养分特征以及生物量和养分特征间的相关性，从而影响不同植物群落的生长策略以及土壤养分。不同植物群落内的土壤养分状况不同，并且具有一定程度的空间异质性。土壤养分的状况影响植物群落地下生物量的生长及空间分布[44]。因此分析不同植物群落根际的土壤养分，可以更好地揭示地下生物量的生长和空间分布格局[45]，本研究发现不同植物生物量与根际土壤养分具有不同程度的相关性，但是相关性都不太显著，如土壤根际AN和TN含量对不同植物群落生物量的相关性较低，这可能是由于本研究区环境恶劣，土壤贫瘠，养分本底值较低，明显低于全国平均水平[36]，土壤养分对本地区植物的生长发育影响有限，不是本地区植物生长发育的限制性因子。本文研究发现不同植物生物量和根际土壤养分之间均具有不同程度的相关性，这与Xu等[46]通过研究植物生物量和土

壤养分是黄土高原次生演替过程中土壤微生物群落变化主要原因的结论基本一致,不同植被恢复模式下,植被特征和土壤因子存在显著差异。相关性分析表明植物地上、地下生物量均与TK、AN和SWC呈正相关,这说明在荒漠草原中SWC、AN与TK对于植物生物量的影响是一个正向的趋势,而有机碳、TN与TP与地上生物量的相关性呈负相关,这与Chen等[47]通过研究降水和大气氮沉降的变化影响了梭梭中N、P和K之间的相关性,但不影响梭梭中水元素的耦合的研究结果基本一致。可见在高寒荒漠草原生态系统中生物量受土壤水分和养分的影响较大,在后续研究中应该更多的关注不同环境因子对于物种生物量分配和生存策略的影响。

不同退化荒漠草原生态系统的退化过程不同,植被和土壤养分在退化过程中起着重要的作用,荒漠草原由于环境变化和人类活动的影响导致生态系统严重退化,恢复工作越来越受到重视,从本质上讲,草地的退化是动植物间的协同关系遭到破坏而发生的植被演替逆行过程,同时土壤水分和养分的丧失超过了草地生态系统自我修复的阈值[48]。因此新技术的开发和应用迫在眉睫,尤其是乡土物种的培育和改良是目前生态修复中最为重要的一步。我国草原地域辽阔,类型繁多,其利用方式和退化程度也不同,因此根据各地草原退化的具体情况,因地制宜的采取相应的恢复与合理利用技术。在不同退化梯度和不同生态环境的荒漠草地上实施不同的恢复方法是实现荒漠草地生态恢复的必要条件。研究发现,乡土物种补播后荒漠草原植物群落结构发生改变,植被盖度和地上生物量有较大幅度的提高,可能是由于在补播过程中对土壤的机械作用改变了植物生存原有的环境,加之补播的乡土物种本身对当地脆弱、易变环境的适应性和抗干扰能力较强,进而提高对空间资源的利用率,影响草地土壤和养分等理化性状[49]。但新技术的开发和推广需要了解当地的植被和土壤现状,而本研究通过对荒漠草原优势种生存策略以及土壤特征养分对其影响的研究,为荒漠化治理新技术的开发和推广提供了参考。

4 结 论

(1) 在荒漠草原生态系统中,优势植物间生物量和根冠比差异均显著,多年生的骆驼蓬、碱茅、中华羊茅和冰草植物生物量大都集中在地下,而一年生的狗尾草植物生物量大都集中在地上。5种优势植物具有不同的适应策略。

(2) 5种植物根际土壤有机碳、碱解氮、速效钾、全氮、全磷、全钾及其化学计量特征存有显著差异,5种优势植物对土壤有机碳和全磷具有明显的富集作用。后续可根据不同植物根际对土壤养分的富集作用,为植被恢复中物种的选择提供依据。

(3) 相关性分析发现5种优势植物生物量和根际土壤有机碳、全磷等呈负相关,与土壤全钾、碱解氮和含水量等呈正相关,土壤养分和含水量都影响了荒漠植物植物生物量及其分配,未来在荒漠草地管理过程中,应根据选择不同物种给予养分和水分补充。

参考文献(References)

[1] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154. [Shen Haihua, Zhu Yankun, Zhao Xia, et al. Analysis of current grassland resources in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(2): 139-154.]

[2] Kang L, Han X G, Zhang Z B. Grassland ecosystems in China: Review of current knowledge and research advancement[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 2007, doi: 10.1098/rstb.2007.2029.

[3] 于钊, 李奇铮, 王培源, 等. 退化和恢复过程驱动的荒漠草地生态系统有机碳密度变化[J]. 中国沙漠, 2022, 42(2): 215-222. [Yu Zhao, Li Qizheng, Wang Peiyuan, et al. Changes of organic carbon density in desert steppe ecosystem driven by degradation and restoration[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(2): 215-222.]

[4] Gong Z, Kawamura K, Ishikawa N, et al. MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) and vegetation phenology dynamics in the Inner Mongolia grassland[J]. Solid Earth, 2015, 6(3): 1185-1194.

[5] Zhang G, Biradar C M, Xiao X, et al. Exacerbated grassland degradation and desertification in Central Asia during 2000—2014[J]. Ecological Applications, 2017, 28(2): 442-456.

[6] 哈斯, 盖志毅. 基于政策过程的我国荒漠化治理研究述评[J]. 科学管理研究, 2021, 39(2): 29-36. [Ha Si, Gai Zhiyi. Review on the governance desertification based on policy processes in China [J]. Scientific Management Research, 2021, 39(2): 29-36.]

[7] 武海霞, 王则宇, 尹强, 等. 我国北方荒漠草原退化研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2017, 43(2): 58-62. [Wu Haixia, Wang Zeyu, Yin Qiang, et al. Research progress on degradation of desert steppe in northern China[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2017, 43(2): 58-62.]

[8] 张继辉, 蔡道雄, 卢立华, 等. 不同林龄柚木人工林土壤生态化

学计量特征[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5718-5728. [Zhang Jihui, Cai Daoxiong, Lu Lihua, et al. Soil ecological stoichiometry of different aged teak (*Tectona grandis*) plantations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5718-5728.]

[9] 张军, 安邦. 安徽省潜山市土壤养分地球化学特征及其影响因素[J]. 能源技术与管理, 2022, 47(4): 190-194. [Zhang Jun, An Bang. Geochemical characteristics and influencing factors of soil nutrients in Qianshan City, Anhui Province[J]. Energy Technology and Management, 2022, 47(4): 190-194.]

[10] 李巧玲, 阎欣, 吴秀芝, 等. 荒漠草原沙漠化对土壤无机碳和有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 98-103, 110. [Li Qiaoling, Yan Xin, Wu Xiuzhi, et al. Effect of desertification on soil organic carbons and soil inorganic carbons in desert grassland [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(1): 98-103, 110.]

[11] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 等. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 991-1000. [Tang Zhuangsheng, An Hui, Deng Lei, et al. Changes in the plant community and soil physical properties during grassland desertification of steppes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 991-1000.]

[12] 唐庄生, 安慧, 上官周平. 荒漠草原沙漠化对土壤养分与植被根冠比的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(3): 463-468. [Tang Zhuangsheng, An Hui, Shangguan Zhouping. Effect of desertification on soil nutrients and root to shoot ratio in desert steppe[J]. Acta Agrestia Sinica, 2015, 23(3): 463-468.]

[13] 赵雯, 黄来明. 高寒山区不同土地利用类型土壤养分化学计量特征及影响因素[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4415-4427. [Zhao Wen, Huang Laiming. Stoichiometric characteristics and influencing factors of soil nutrients under different land use types in an alpine mountainous region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(11): 4415-4427.]

[14] 刘梦云, 吴健利, 刘丽雯, 等. 黄土台塬土地利用方式对土壤水稳性团聚体稳定性影响[J]. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1564-1576. [Liu Mengyun, Wu Jianli, Liu Liwen, et al. Stability characteristics of soil water-stable aggregates under different land-use patterns on the Loess Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(9): 1564-1576.]

[15] 莫保儒, 王子婷, 蔡国军, 等. 半干旱黄土区成熟柠条林地剖面土壤水分环境及影响因子研究[J]. 干旱区地理, 2014, 37(6): 1207-1215. [Mo Baoru, Wang Ziting, Cai Guojun, et al. Soil water environment in different soil layers and influence factors of mature forest of *Caragana korshinskii* in semiarid Loess Area[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(6): 1207-1215.]

[16] 王春燕, 燕霞, 顾梦鹤. 黄土高原弃耕地植被演替及其对土壤养分动态的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(11): 26-35. [Wang Chunyan, Yan Xia, Gu Menghe. The interaction effect of vegetation and soil nutrients on vegetation succession in abandoned farmland on the Loess Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(11): 26-35.]

[17] 王向涛, 张世虎, 陈懂懂, 等. 不同放牧强度下高寒草甸植被特征和土壤养分变化研究[J]. 草地学报, 2010, 18(4): 510-516. [Wang Xiangtao, Zhang Shihu, Chen Dongdong, et al. The effect of natural grazing intensity on plant community and soil nutrients in alpine meadow[J]. Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(4): 510-516.]

[18] 王占义, 赵向玲, 王成杰, 等. 不同牧马强度对荒漠草原植物群落特征的影响[J]. 草原与草业, 2023, 35(1): 10-16. [Wang Zhanyi, Zhao Xiangling, Wang Chengjie, et al. Effects of horse grazing intensities on plant community characteristics in desert steppe[J]. Grassland and Prataculture, 2023, 35(1): 10-16.]

[19] 张馨文, 安慧, 杜忠毓, 等. 氮添加对宁夏荒漠草原植物初级生产力的影响机制[J]. 生态学报, 2023, 43(6): 2476-2487. [Zhang Xinwen, An Hui, Du Zhongyu, et al. Effect and mechanism of nitrogen addition on primary productivity in desert grassland of Ningxia, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(6): 2476-2487.]

[20] 图纳热, 红梅, 闫瑾, 等. 降水变化和氮沉降对荒漠草原土壤细菌群落结构及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(2): 403-413. [Tuna Re, Hongmei, Yan Jin, et al. Effects of precipitation variation and nitrogen deposition on soil bacterial community structure and enzyme activity in desert grasslands[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2023, 42(2): 403-413.]

[21] 付爱良, 杨刚, 郑晓红, 等. 新疆荒漠草地退化的原因分析与修复对策探讨[J]. 草食家畜, 2009(1): 6-7. [Fu Ailiang, Yang Gang, Zheng Xiaohong, et al. Discussion on the cause of degradation and restoration countermeasures of desert grassland in Xinjiang[J]. Grass-Feeding Livestock, 2009(1): 6-7.]

[22] 阿克塞县地方史志办公室. 阿克塞年鉴[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2020. [Aksay County Local Historical Records Office. Aksay yearbook[M]. Lanzhou: Gansu Ethnic Publishing House, 2020.]

[23] Guo D L, Hendricks M J J. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest[J]. Oecologia, 2004, 140(3): 450-457.

[24] 鲍士旦. 土壤农业分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 1999. [Bao Shidan. Soil agricultural analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1999.]

[25] 姚宝辉, 王缠, 张倩, 等. 甘南高寒草甸退化过程中土壤理化性质和微生物数量动态变化[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 138-145. [Yao Baohui, Wang Chan, Zhang Qian, et al. Dynamic characteristics of soil physicochemical properties and microbial quantity during the degradation of Gannan alpine meadow[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(3): 138-145.]

[26] 景明慧, 贾晓彤, 张运龙, 等. 长期氮添加对内蒙古典型草原植物地上、地下生物量及根冠比的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3185-3193. [Jing Minghui, Jia Xiaotong, Zhang Yunlong, et al. Effect of long-term nitrogen addition on community aboveground and belowground biomass and their ratio in a typical steppe of Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(10): 3185-3193.]

[27] 崔向慧, 卢琦. 中国荒漠化防治标准化发展现状与展望[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 913-919. [Cui Xianghui, Lu Qi. Develop-

ment status and prospect of standardized desertification combating in China[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(5): 913-919.]

[28] 杨婷婷, 高永, 吴新宏, 等. 小针茅草原植被地下与地上生物量季节动态及根冠比变化规律[J]. 干旱区研究, 2013, 30(1): 109-114. [Yang Tingting, Gao Yong, Wu Xinhong, et al. Study on seasonal variation of aboveground and underground biomasses of vegetation in the *Stipa klemenzii* and their ratio[J] Arid Zone Research, 2013, 30(1): 109-114.]

[29] 毛伟, 李玉霖, 崔夺, 等. 沙质草地不同生活史植物的生物量分配对氮素和水分添加的响应[J]. 植物生态学报, 2014, 38(2): 125-133. [Mao Wei, Li Yulin, Cui Duo, et al. Biomass allocation response of species with different life history strategies to nitrogen and water addition in sandy grasslands in Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(2): 125-133.]

[30] 姚喜喜, 宫旭胤, 白滨, 等. 祁连山高寒牧区不同类型草地植被特征与土壤养分及其相关性研究[J]. 草地学报, 2018, 26(2): 371-379. [Yao Xixi, Gong Xuyin, Bai Bin, et al. Study of grassland vegetation characteristics and soil nutrients and their correlation between different grassland types in alpine pastoral area of Qilian Mountains[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(2): 371-379.]

[31] 蔡楠, 孙旭, 刘永宏. 包头黄河湿地不同植物群落土壤养分分布特征[J]. 北方园艺, 2021(10): 80-87. [Cai Nan, Sun Xu, Liu Yonghong. Soil nutrients distribution characteristics of different plant communities in Baotou Yellow River wetland[J]. Northern Horticulture, 2021(10): 80-87.]

[32] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4674-4682. [Zhu Qiulian, Xing Xiaoyi, Zhang Hong, et al. Soil ecology stoichiometry under different vegetation areas on loess hilly gully region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4674-4682.]

[33] 邵文山, 李国旗, 陈科元, 等. 荒漠草原四种常见植物群落土壤养分及土壤微生物特征[J]. 北方园艺, 2016(15): 161-166. [Shao Wenshan, Li Guoqi, Chen Keyuan, et al. Characteristics of soil nutrients and soil microbial under four common plant community in desert steppe[J]. Northern Horticulture, 2016(15): 161-166.]

[34] 王永槐. 退化草地不同功能群生物量与土壤养分的相关性分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(13): 3975-3977. [Wang Yonghuai. The correlation analysis between biomass of different functional groups and soil nutrients in degraded grassland[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(13): 3975-3977.]

[35] 米佳, 刘花, 石晶, 等. 典型草原4种植物根际水分和土壤养分特征研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2022, 45(4): 1128-1137. [Mi Jia, Liu Hua, Shi Jing, et al. Characteristics of water and soil nutrients in rhizosphere of four plants in the typical steppe of northern China[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 2022, 45(4): 1128-1137.]

[36] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. [Huang Changyong. Soil science[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2000.]

[37] Dai S S, He P, You M Y, et al. The presence of soybean, but not soybean cropping frequency has influence on SOM priming in crop rotation systems[J]. Plant Soil, 2023, 487: 511-520.

[38] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data[J]. Biogeochemistry, 2010, 98(1): 139-151.

[39] 曹娟, 闫文德, 项文化, 等. 湖南会同3个林龄杉木人工林土壤碳、氮、磷化学计量特征[J]. 林业科学, 2015, 51(7): 1-8. [Cao Juan, Yan Wende, Xiang Wenhua, et al. Stoichiometric characteristics of soil C, N, and P of Chinese fir plantations at three different ages in Huitong, Hunan Province, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(7): 1-8.]

[40] 郭鑫, 魏天兴, 陈宇轩, 等. 黄土丘陵区典型退耕恢复植被土壤生态化学计量特征[J]. 干旱区地理, 2022, 45(6): 1899-1907. [Guo Xin, Wei Tianxing, Chen Yuxuan, et al. Characteristics of soil ecological stoichiometry in typical fallow-restored vegetation in the loess hilly areas[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(6): 1899-1907.]

[41] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形梯度下草地群落植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1752-1763. [Ru Haili, Zhang Haidong, Jiao Feng, et al. Plant and soil C, N and P stoichiometric characteristics in relation to micro-topography in the hilly loess hilly plateau region, China [J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(10): 1752-1763.]

[42] 李凯辉, 胡玉昆, 王鑫, 等. 不同海拔梯度高寒草地地上生物量与环境因子关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2019-2024. [Li Kaihui, Hu Yukun, Wang Xin, et al. Relationship between aboveground biomass and environmental factors along an altitude gradient of alpine grassland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(9): 2019-2024.]

[43] An H, Tang Z S, Keesstra S, et al. Impact of desertification on soil and plant nutrient stoichiometry in a desert grassland[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 6422, doi: 10.1038/s41598-019-45927-0.

[44] 王政权, 张彦东, 王庆成. 水曲柳幼苗根系对土壤养分和水分空间异质性的反应[J]. 植物研究, 1999(3): 329-334. [Wang Zhenquan, Zhang Yandong, Wang Qingcheng. Responses of *Fraxinus mandshurica* seedling roots to heterogeneous nutrients and water distribution[J]. Bulletin of Botanical Research, 1999(3): 329-334.]

[45] George E, Seith B, Schaeffer C, et al. Responses of *Picea*, *Pinus* and *Pseudotsuga* roots to heterogenous nutrient distribution in soil [J]. Tree Physiology, 1997, 17: 39-45.

[46] Xu M P, Wang J Y, Zhu Y F, et al. Plant biomass and soil nutrients mainly explain the variation of soil microbial communities during secondary succession on the Loess Plateau[J]. Microbial ecology, 2022, 83(1): 114-126.

[47] Chen Z, Liu X, Cui X, et al. Changes in precipitation and atmospheric N deposition affect the correlation between N, P and K but not the coupling of water-element in *Haloxylon ammodendron*[J]. PloS one, 2021, 16(10): e0258927, doi: 10.1371/journal.pone.0258927.

[48] 潘庆民, 薛建国, 陶金, 等. 中国北方草原退化现状与恢复技术[J]. 科学通报, 2018, 63(17): 1642−1650. [Pan Qingmin, Xue Jianguo, Tao Jin, et al. Current situation of grassland degradation and measures for grassland restoration in northern China[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(17): 1642−1650.]

[49] 李永康, 许冬梅, 撒春宁, 等. 乡土物种对退化荒漠草原的改良效果研究[J]. 中国草地学报, 2022, 44(6): 36−45. [Li Yongkang, Xu Dongmei, Sa Chunning, et al. The study on the improvement effect of native species on degraded desert grasslands[J]. Chinese Journal of Grassland, 2022, 44(6): 36−45.]

Biomass and soil nutrient characteristics of five dominant plant species in the desert grassland of the northern foothills of the Qilian Mountains

ZHANG Zhiming[1,2], SUN Xiaomei[2,3], BAO Duanhong[1,2], YAO Baohui[1,2], WANG Zhicheng[1,2], SU Junhu[1,2]

(1. Grassland College of Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem of the Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U.S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainablity, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Gansu Agricultural University-Massey University Research Centre for Grassland Biodiversity, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: To clarify the relationship between plant biomass and soil nutrients of dominant plants in desert grasslands, this study selected five dominant plant species: *Peganum harmala*, *Setaria viridis*, *Festuca sinensis*, *Puccinellia distans*, and *Agropyron cristatum*. We measured their biomass and root-zone soil nutrients to explore biomass allocation and its relationship with soil nutrients. The results are as follows: (1) There were significant differences in total biomass and root-shoot ratio among the five dominant plant species ($P<0.05$), with *Peganum harmala* having the highest total biomass and *Puccinellia distans* having the lowest. The perennial plants *Peganum harmala*, *Puccinellia distans*, *Festuca sinensis*, and *Agropyron cristatum* had most of their biomass allocated below ground, whereas the annual plant *Setaria viridis* had most of its biomass above ground. The order of root-shoot ratio among the five plants was as follows: *Puccinellia distans*>*Agropyron cristatum*>*Festuca sinensis*>*Peganum harmala*>*Setaria viridis*. (2) There were significant differences ($P<0.05$) in root-zone soil organic carbon, available nitrogen, available potassium, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, and their stoichiometric characteristics among the five plant species. The order of soil C:N ratio among the five plants was as follows: *Puccinellia distans*>*Setaria viridis*>*Agropyron cristatum*>*Peganum harmala*>*Festuca sinensis*. (3) Variations in plant biomass, root-shoot ratio, and soil nutrients varied among the plants. The root-zone soil total potassium of *Peganum harmala*, *Setaria viridis*, and *Festuca sinensis* and the root-zone soil moisture of *Puccinellia distans* and *Agropyron cristatum* exhibited weak variation, whereas the other plant characteristics, soil nutrients, and stoichiometric characteristics exhibited moderate variation. The biomass of the five dominant plant species exhibited a positive correlation with the root-zone soil available nitrogen and total potassium ($P<0.05$). The allocation of plant biomass and soil nutrient composition significantly vary among different species and life histories in the desert grassland ecosystem. In the future, it will be necessary to restore degraded desert ecosystems by applying appropriate fertilization based on the nutrient requirements of different dominant plant species.

Key words: desert grassland; biomass; root-shoot ratio; soil nutrient characteristics; the northern foothills of the Qilian Mountains